Québec

Note de recherche forestière n° 101

Utilisation d'indicateurs cartographiques dans la caractérisation de la mosaïque forestière à l'échelle d'une aire commune

CATHERINE PÉRIÉ [1], FRANÇOIS LEVESQUE [1], HÉLÈNE D'AVIGNON [1], ROCK OUIMET [2] et VINCENT GERARDIN [3]

FDC 188(047.3)(714)
LC SD 387

Résumé

Plusieurs indicateurs ont été testés afin de caractériser la mosaïque forestière à l'échelle de l'aire commune 031-07 (1360 km²) située en forêt boréale, près de la ville de Québec. Les indicateurs utilisés dans l'étude de la composition du paysage sont les proportions du territoire occupées par les groupements d'essences, les classes d'âge ainsi que la combinaison de ces deux éléments, soit le groupement d'essences par classe d'âge, sans oublier le groupement d'essences par classe d'âge et par classe de drainage, qui tient aussi compte du milieu physique. D'autres indicateurs, comme l'indice de forme, l'indice d'isolement et l'indice de connexité, calculés à partir de données cartographiques, ont permis d'étudier la fragmentation et la configuration des paysages de l'aire commune. Tous ces indicateurs ont montré que la mosaïque forestière est essentiellement caractérisée par une nette dominance de peuplements résineux de forme complexe, d'une superficie moyenne de 12 ha. Ces peuplements sont peu isolés les uns des autres et le paysage forestier est généralement continu. Il semble donc que la perte d'habitats d'intérieur et l'isolement de peuplements ne soient pas des problèmes fréquents dans l'aire commune, à l'exception des territoires récemment coupés. La mosaïque forestière observée en 1990 s'éloigne de la mosaïque forestière observée en 1929 par deux caractéristiques essentielles : une importante diminution de la superficie occupée par les vieilles forêts et une augmentation de la taille des jeunes peuplements. Ces indicateurs, peu onéreux et facilement calculables, peuvent être utiles lorsqu'il s'agit de dresser le portrait d'un paysage forestier à l'échelle d'une aire commune.

Mots clés : mosaïque forestière, biodiversité, indicateur, aménagement forestier durable.

Abstract

Using cartographic indicators to characterize the forest mosaic at the landscape level. *Several indicators were examined to characterize the forest mosaic at the landscape level of a boreal coniferous forest near Québec City (management unit 031-07, 1360 km²). The indicators used were the proportions of the territory occupied by a species group, age class and a combination of these two elements, as well as grouping species by age class and drainage class, thus taking into account the physical environment. Other indicators such as the shape index, proximity index and juxtaposition index allowed for the study of landscape configuration. These showed that the forest mosaic of the management unit area was characterized predominantly by coniferous stands which had a complex shape and a mean area of 12 ha. These stands were not isolated from each other and the landscape was generally continuous. Compared to the undisturbed mosaic measured in 1929, the mean area of the young stands in 1990 had increased whereas the surface occupied by the old forests had markedly decreased, shifting the forest mosaic away from that of an undisturbed forest. Such indicators, which are affordable and easily computed, could be used to provide a portrait of biodiversity at the landscape level.*

Key words : forest mosaic, biodiversity, indicator, sustainable forest management.

[1] Scierie Leduc, Division de Daishowa inc.
[2] Direction de la recherche forestière, **Forêt Québec**.
[3] Direction du patrimoine écologique et du développement durable, ministère de l'Environnement.

Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec) G1P 3W8 Canada

Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : rech.for@mrn.gouv.qc.ca

Introduction

La conservation de la diversité biologique est l'un des six critères d'aménagement forestier durable (AFD) reconnus par le Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF 1995). De façon générale, la diversité des écosystèmes forestiers, écosystèmes qui contribuent à la biodiversité régionale (Forman et Godron 1986, McGarigal et Marks 1993, MRN 1996), s'évalue à différentes échelles de perception. En aménagement forestier, on reconnaît deux échelles, le paysage et le peuplement.

Les pressions anthropiques exercées sur les forêts perturbent leur dynamique naturelle en modifiant leur composition en espèces ainsi que l'organisation spatiale des différents peuplements (Kneeshaw 1996). Ces perturbations peuvent même entraîner la disparition de certains écosystèmes. La fragmentation des habitats est généralement reconnue comme étant l'une des principales causes du déclin de certaines espèces (Wilcox et Murphy 1985). Elle se traduit généralement par la perte d'habitats d'intérieur, l'isolement des populations et l'augmentation de parcelles de plus petites dimensions, non « connectées » les unes aux autres. Elle peut affecter la migration des certains mammifères (Buechner 1989) tout autant que la colonisation de certaines plantes ligneuses (Hardt et Forman 1989). De nos jours, le suivi du changement de composition et d'organisation spatiale des différents peuplements qui constituent la mosaïque forestiere est relativement aisé grâce à l'avancement technologique réalisé en télédétection et en systèmes d'information géographique (SIG). Pour caractériser la mosaïque forestière, plusieurs indicateurs sont proposés (MRN 1998). Dans cette étude, nous n'avons utilisé que des indicateurs calculés à partir de données cartographiques afin de pouvoir en généraliser l'utilisation.

Les objectifs de la présente étude sont de deux ordres. Le premier est de dresser, à l'aide d'indicateurs cartographiques, le portrait de la mosaïque forestière de l'aire commune 031-07 telle qu'elle était en 1990 tandis que le deuxième est de comparer brièvement l'état de la mosaïque forestière mesuré en 1990 avec son état primitif.

Matériel et méthode

Aire d'étude

L'aire d'étude, couvrant approximativement 1 360 km², est l'aire commune 031-07 qui fait présentement l'objet d'un contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) avec la compagnie Scierie Leduc, division de Daishowa inc. La limite sud de ce territoire est située à près de 40 km au nord de la ville de Québec, dans la réserve faunique des Laurentides (RFL). L'aire commune 031-07 est comprise entre les latitudes 47° 08' et 47° 45' N et les longitudes 70° 55' et 71° 40' O (figure 1).

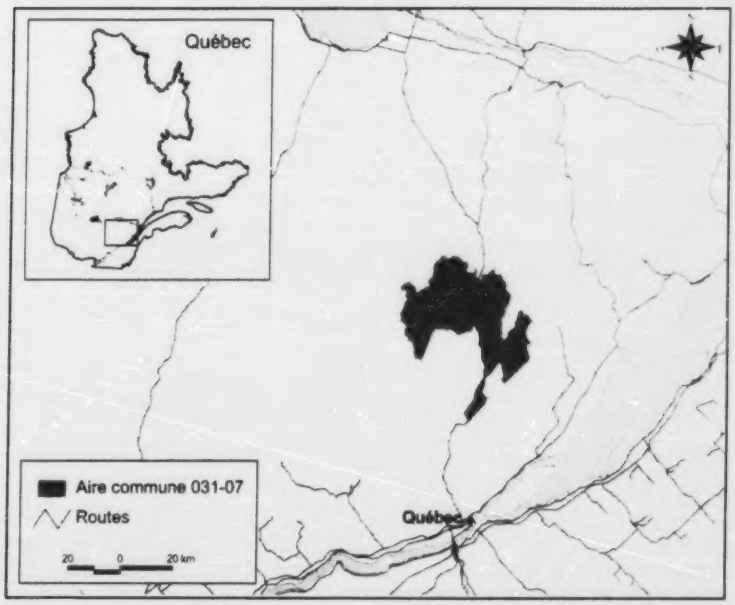

Figure 1. Localisation de l'aire commune 031-07.

La Réserve faunique des Laurentides s'inscrit dans la région naturelle du « Massif du lac Jacques-Cartier » (Li *et al.* 1994). Cette région, en forme de dôme, représente une enclave physiographique particulière en raison de son altitude élevée et de son relief particulièrement accidenté composé de collines, de vallées et de cuvettes modelées par l'activité des glaciers. À cause du climat relativement froid et humide provoqué par l'altitude élevée, cette région naturelle fait partie de la zone de la forêt boréale. Plus précisément, elle chevauche les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à épinette noire (Thibault 1985).

D'un point de vue géologique, la RFL se situe dans la province tectonique de Grenville du Bouclier canadien (OIFQ 1996). Les assises rocheuses, relativement homogènes, sont principalement constituées de roches granitoïdes, particulièrement de mangérites (MEF 1994). Les dépôts glaciaires recouvrent le socle rocheux sur la majorité du territoire. Ainsi, nous retrouvons principalement du till de fond indifférencié plutôt mince (< 1 m, 80 %), parfois accompagné d'affleurements rocheux aux sommets. Les autres dépôts de surface notables sont les dépôts organiques (7 %), les sables fluvio-glaciaires (6 %), les tills d'ablation (3 %) et les tills délavés (3 % ; MEF 1994). Les sols qui se sont développés dans la RFL sont la conséquence du climat froid et humide et de la végétation : des podzols ferro-humiques ou humo-ferriques avec de fréquents ortsteins ou fragipans (Lamontagne et Nolin 1997).

Documents cartographiques

La caractérisation du couvert forestier a été faite à partir de la cartographie écoforestière (1 : 20 000) du ministère des Ressources naturelles (MRN) du troisième inventaire décennal (1990) tandis que celle du milieu physique a été réalisée à l'aide de la carte écologique du ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF ; 1 : 50 000) en retenant les districts écologiques comme niveau de perception (figure 2). Pour les besoins de l'étude, les deux cartes ont été superposées à l'aide d'un SIG et seules les superficies communes aux deux cartes ont été conservées. Afin d'éliminer les fragments cartographiques et les micropolygones, tous les polygones de moins de 0,5 ha ont été fusionnés aux polygones adjacents avec lesquels ils partageaient la plus longue bordure (ESRI 1997).

Composition végétale

Le groupement d'essences, la classe d'âge et la classe de drainage sont les trois variables que nous avons retenues pour caractériser la composition végétale de la mosaïque forestière. L'étage bioclimatique n'a pas été directement retenu, mais l'analyse des données par district le prend indirectement en considération puisque certains districts se distinguent en fonction de la représentativité des étages bioclimatiques (tableau 1).

Un premier regroupement a été effectué en fonction de la composition en essences de la mosaïque (tableau 2). Les plantations ont été séparées des peuplements en régénération, conformément aux normes de l'ACNOR (1996). Les peuplements feuillus et mixtes de plus de 4 m de hauteur ont été séparés en fonction de la proportion de feuillus dans le couvert tandis que les peuplements résineux de plus de 4 m l'ont été en fonction de la proportion de sapin. D'autre part, les dénudés humides (tourbières non boisées) et les aulnaies ont été regroupés afin de ne former qu'un seul groupement d'essences. Les autres milieux terrestres (chemins, lignes électriques) et aquatiques ont également été considérés comme deux groupements distincts. D'autres types de regroupements ont été effectués, l'un en fonction de l'âge des peuplements (tableau 3), l'autre en fonction des conditions de drainage des différentes stations (tableau 4).

Chaque polygone cartographique résultant de la superposition de la carte écoforestière du MRN et de la carte écologique du MEF a été classé en fonction des trois regroupements précédents (groupements d'essences, classes d'âge et classes de drainage). La composition végétale de la mosaïque forestière a été analysée en suivant la séquence suivante : les « groupements d'essences », les « classes d'âge », la combinaison « groupement d'essences_classe d'âge » et finalement, la combinaison « groupement d'essences_classe d'âge_classe de drainage ».

Configuration des peuplements dans le paysage forestier

Taille et forme des peuplements

Chaque polygone formé à partir des combinaisons de « groupement d'essences_classe d'âge » a été caractérisé à l'aide de deux indices : la dimension et la forme. L'indice de dimension représente la superficie de chacune des composantes. Il est présenté en termes de fréquence dans des classes de superficies prédéterminées (Hunter 1990). La forme des peuplements est analysée par rapport à la forme de référence du cercle, car le cercle est la forme qui, pour une superficie donnée, a le plus petit périmètre ($IF_{cercle} = 1$). La répartition de la superficie de chaque combinaison « groupement d'essence_classe d'âge » est ensuite présentée par classe d'indice de forme.

Cet indice se calcule comme suit (McGarigal et Marks 1993, Forman et Godron 1986) :

$$IF_{ij} = \frac{p_{ij}}{2 \times \sqrt{\pi \times a_{ij}}}$$

où IF_{ij} : indice de forme du polygone *i* de la classe *j* ;

a_{ij} : aire du polygone *i* de la classe *j* ;

p_{ij} : périmètre du polygone *i* de la classe *j*.

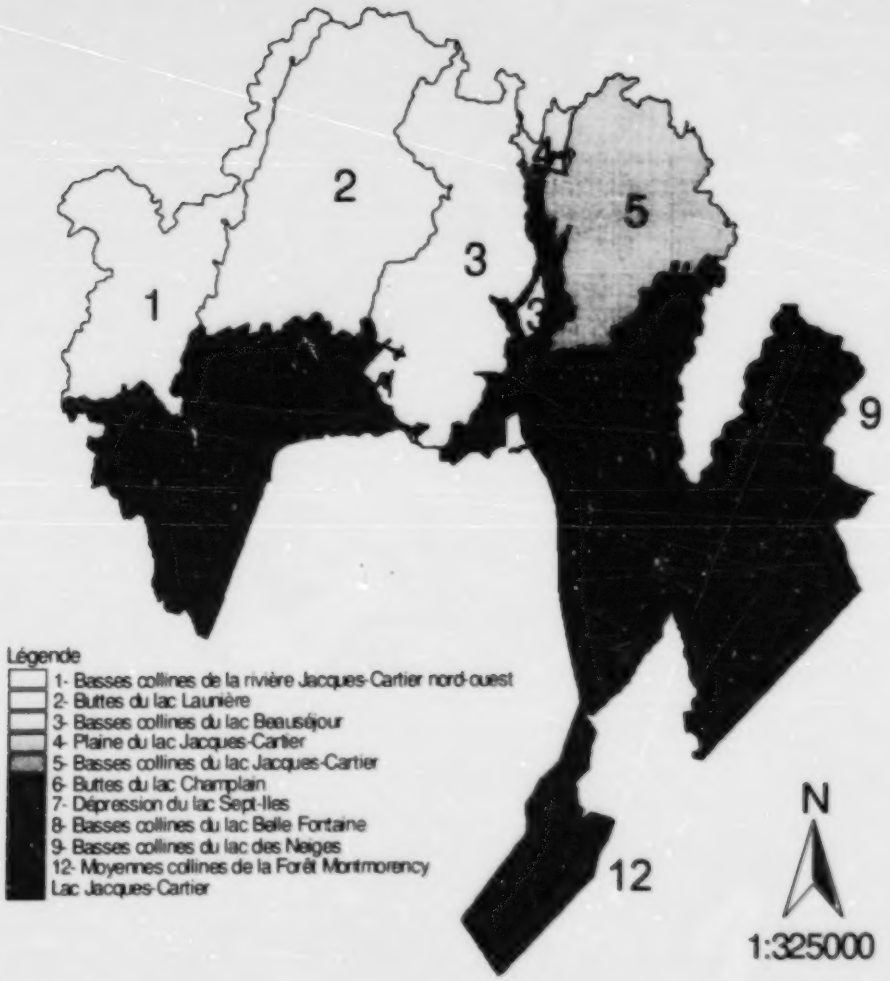

Figure 2. Districts écologiques de l'aire commune 031-07 (adapté de MEF 1994) et secteur du lac Champlain qui a servi à faire la comparaison entre la mosaïque primitive de 1929 et la mosaïque observée en 1990.

Distribution spatiale des peuplements

La distribution spatiale des composantes a également été étudiée à l'aide de deux autres indices calculés au moyen d'un système d'information géographique (SIG). Le premier mesure le degré d'isolement moyen du plus proche voisin (Rm, *mean nearest-neighbour distance*) des polygones de même type. Une augmentation de la valeur de cet indice suggère donc une augmentation de la fragmentation. Il se calcule comme suit (Forman et Godron 1986, McGarigal et Marks 1993) :

$$Rm_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n} d_{ij}$$

où Rm_j : moyenne du plus proche voisin (indice d'isolement) de la combinaison « groupement d'essences - classe d'âge *j* »

d_{ij} : distance (m) du polygone i au plus proche polygone de la même combinaison « groupement d'essences_classe d'âge *j* » ;

n_j : nombre de polygones de la combinaison « groupement d'essences_classe d'âge *j* ».

Tableau 1. Répartition de la superficie (%) des districts de l'aire commune 031-07 en fonction des superficies de l'aire commune et de celles des étages bioclimatiques

	Districts écologiques	Superficies				
		aire commune		étage bioclimatique (%)		
		ha	%	< 700 m	700-900 m	> 900 m
1	Basses collines de la rivière Jacques-Cartier	13288	10	16	82	2
2	Buttes du lac Launière	20882	15	0	82	17
3	Basses collines du lac Beauséjour	17037	12	0	59	41
4	Plaine du lac Jacques-Cartier	1051	1	0	100	0
5	Basses collines du lac Jacques-Cartier	13101	10	0	60	40
6	Buttes du lac Champlain	19733	14	27	73	0
7	Dépression du lac Sept-Îles	6394	5	0	99	1
8	Basses collines du lac Belle Fontaine	17425	13	1	62	37
9	Basses collines du lac des Neiges	19508	14	0	48	52
12	Moyennes collines de la Forêt Montmorency	7228	5	28	69	3
	Total	135647	100	7	69	24

(*) Les superficies proviennent de la carte résultant de l'intersection de la carte écoforestière et de la carte écologique. Les superficies des districts incluent uniquement les parties qui se situent à l'intérieur de l'aire commune 031-07.

Tableau 2. Regroupement des groupements d'essences de la carte écoforestière

Groupements d'essences retenus	Groupements d'essences de la carte écoforestière
Plantations (P)	Plantations (ex. P, EPN P, PIG, etc.)
Peuplements en régénération (REG)	Peuplements de hauteur 6 (moins de 4 m) (ex. R 6 ct 10) ainsi que superficies de coupe totale, d'épidémie sévère, de chablis total et de coupe avec protection de la régénération et des sols sans type de couvert (ex. ct, cht, es et cpr)
Bétulaies à bouleau blanc (BB)	BB, BJ ainsi que peuplements feuillus de hauteur 5 (4 à 7 m) sans groupement d'essences (ex. F B5 ct 30)
Mélangés (SBB)	SBB, BBS, BBE, EBB, BBR, RBB, RBJ*, BJ*R, BJ R ainsi que peuplements mélangés de hauteur 5 (4 à 7 m) sans groupement d'essences (ex. M B5 ct 30)
Sapinières à sapin (SS)	SS, SPB ainsi que peuplements résineux de hauteur 5 (4 à 7 m) sans groupement d'essences (ex. R B5 ct 30)
Sapinières à épinette et pessières à sapin (ES)	SE et ES
Pessières (EE)	EE et EME
Mélèzaies (MEL)	MEME et MEE
Dénudés humides et aulnaies (DH, AL)	DH et AL
Milieux aquatiques (Lacs)	Lacs, étangs, rivières, etc.
Autres terrains (Autres)	Terrains non forestiers (ex. routes, gravières, dénudés secs, ligne de transport d'énergie, etc.)

Tableau 3. Regroupement des classes d'âge de la carte écoforestière

Classes d'âge retenues	Classes d'âge de la carte écoforestière
Régénération (10 ans)	Peuplements de hauteur 6 (moins de 4 m) et superficies de coupe totale, d'épidémie sévère, de chablis total et de coupe avec protection de la régénération et des sols sans type de couvert assigné (ex. ct, cht, es et cpr)
Jeune (30 ans)	Peuplements de hauteur 5 et plus (4 m et plus) dans les classes de 10 ans et 30 ans et peuplements bi-étagés dont la classe d'âge dominante est 30 ans (ex. R SS B5 30, R SS A5 10, R SS C3 3070, etc.)
Mature (50 ans)	Peuplements de la classe de 50 ans, peuplements jeunes inéquiennes (JIN) et peuplements bi-étagés dont la classe d'âge dominante est 50 ans (ex. R EE C4 50, R SS C3 5070, etc.)
Suranné (70 ans et plus)	Peuplements des classes d'âge de 70 ans et plus, peuplements vieux inéquiennes (VIN) et peuplements bi-étagés dont la classe d'âge dominante est 70, 90 ou 120 ans (ex. R SS C3 70, R EE C3 90, R EE D3 7030, etc.)

Tableau 4. Synthèse des classes de drainage des entités topographiques

	Classes de drainage				
Synthèse des classes de drainage	**C (0-4)**	**M (2-3)**	**MO (2-3*[1])**	**H (4-5)**	**TH[2] (4-5*, 6 et 6*)**
Mésique (M)		Plus de 70 %[3]			
Mésique avec drainage complexe (MC)	Co-dominante[4]	50 à 70 %			
Mésique avec drainage oblique (MO)		50 à 70 %	Co-dominante		
Mésique avec drainage humide (MH)		50 à 70 %		Co-dominante	
Mésique avec drainage très humide (MTH)		50 à 70 %			Co-dominante
Complexe (C)	Dominante[5]	Moins de 50 %			
Mésique à drainage oblique (O)		Moins de 50 %	Dominante		
Humide (H)		Moins de 50 %		Dominante	
Très humide (TH)		Moins de 50 %			Dominante

[1] * : présence de drainage oblique.

[2] Bien que les milieux avec un drainage imparfait à mauvais avec *seepage* (4-5*) puissent être particuliers en terme de composition floristique, leur importance ne justifie pas de former une classe distincte. En fait, la proportion des entités topographiques occupée par ce type de drainage est rarement de plus de 20 %.

[3] Pourcentage de la superficie de l'entité topographique occupée par cette classe de drainage.

[4] Classe de drainage dominante sans compter la classe mésique (2-3).

[5] Deuxième classe de drainage en importance après la classe mésique.

Le deuxième indice, l'indice d'agrégation (*R*), est le rapport entre l'indice d'isolement calculé (*Rm*) et l'indice d'isolement prédit pour une distribution aléatoire (Braun *et al.* 1996. Krebs 1989). L'indice se calcule comme suit :

$$R = \frac{Rm}{Re}$$

où *Rm* : indice d'isolement calculé ;

Re : indice d'isolement prédit.

L'indice prédit *Re* est :

$$Re = \frac{1}{2 \times \sqrt{u}}$$

où *u* : densité des polygones =

$$\left(\frac{\textit{nombre de polygones dans le territoire étudié}}{\textit{aire du territoire étudié}} \right)$$

Le rapport *R* est voisin de 1 lorsque le patron spatial des polygones est aléatoire. Il s'approche de 0 en présence d'un patron groupé et est supérieur à 1 en présence d'un patron régulier. Le test suivant permet de vérifier s'il y a une déviation significative par rapport au patron aléatoire (Krebs 1989, Ripley 1986) :

$$z = \frac{Rm - Re}{S_r}$$

où *z* : valeur du test de distribution normale ;

Sr : erreur-type de *Rm* ;

Rm : indice d'isolement calculé ;

Re : indice d'isolement prédit.

L'erreur-type de *Rm* se calcule de la façon suivante :

$$S_r = \sqrt{\frac{4 - \pi}{4 \times N \times u \times \pi}}$$

où *N* : nombre de polygones ;

u : densité des polygones.

La valeur *z* du test est rapportée à une table de distribution normale. L'hypothèse de distribution aléatoire est rejetée en faveur du groupement ou de la régularité lorsque la valeur de *z* est respectivement inférieure ou supérieure à la valeur critique du niveau de signification choisi. Par exemple, à un niveau de signification de 95 %, la distribution des polygones est aléatoire lorsque $-1{,}96 \leq z \leq 1{,}96$. Elle est considérée groupée lorsque $z < -1{,}96$ et régulière lorsque $z > 1{,}96$. Ce test, fréquemment utilisé, est biaisé en faveur de la régularité puisqu'il ne tient pas compte de l'effet de bordure du territoire. Le test de Donnelly (1978) est indiqué si on veut tenir compte de la bordure de l'aire d'étude (Krebs 1989, Ripley 1986, Sinclair 1985). L'indice d'isolement prédit proposé est alors :

$$Re = 0{,}5 \times \sqrt{A/N} + \left(0{,}051 + 0{,}041/\sqrt{N}\right) \times P/N$$

où *P* : périmètre de l'aire d'étude (km) ;

A : superficie de l'aire d'étude (ha) ;

N : nombre de polygones.

L'erreur-type proposée est alors :

$$S_r = \frac{\sqrt{0{,}07 \times A + 0{,}037 \times P \times \sqrt{A/N}}}{N}$$

où S_r : erreur-type de *Rm* ;

P : périmètre de l'aire d'étude ;

A : superficie de l'aire d'étude ;

N : nombre de polygones.

La valeur *z* du test de Donnelly (1978) se calcule comme la valeur *z* précédente en remplaçant l'indice prédit et l'erreur-type par ceux proposés par Donnelly. Ce test n'est toutefois pas toujours adéquat, puisque l'effet de bordure peut venir biaiser les résultats dans le cas des polygones de forme complexe qui présentent de très longues bordures (Krebs 1989). Étant donné la complexité des formes de l'aire commune 031-07 et des districts écologiques, les deux tests ont été effectués et les résultats, comparés.

Finalement, un indice de connexité a été calculé en fusionnant, à l'aide d'un SIG, tous les peuplements de plus de 20 ans (ce qui correspond généralement aux peuplements de plus de 4 m de hauteur). Ainsi, une forêt constituée d'un seul polygone est considérée entièrement interreliée alors qu'à l'inverse, une forêt divisée en un grand nombre de polygones est dite morcelée ou discontinue. Les statistiques de fragmentation ont été calculées à partir de la carte synthèse. La superficie, le périmètre et la distance du plus proche voisin de chaque polygone ont été calculés à l'aide d'*ArcView* (ESRI 1996).

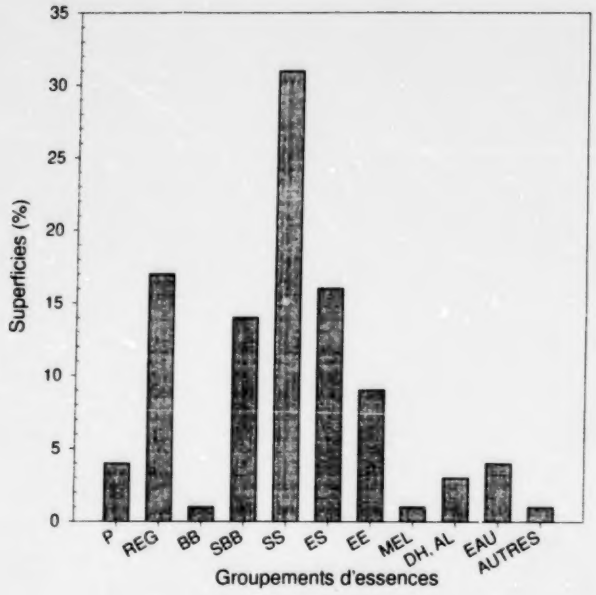

Figure 3. Superficie totale de l'aire commune 031-07 couverte par chaque groupement d'essences (se référer au tableau 2 pour la signification des sigles).

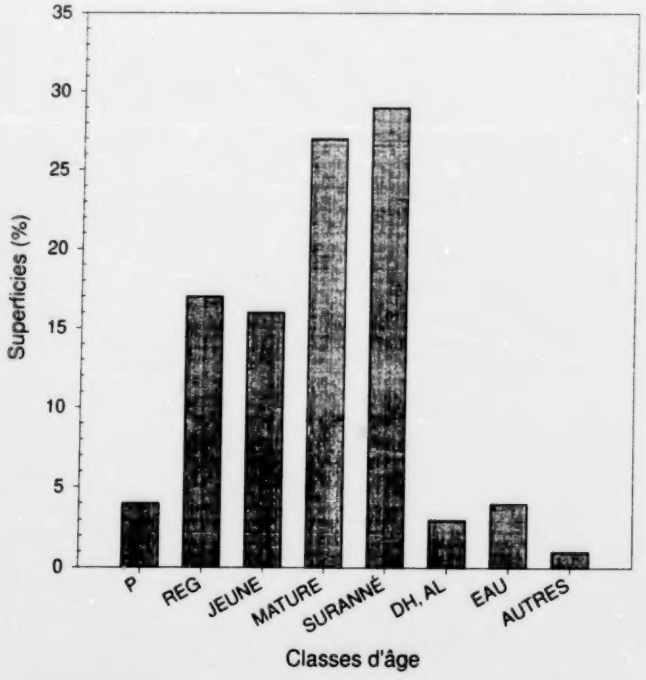

Figure 4. Superficie totale de l'aire commune 031-07 couverte par chacune des classes d'âge (se référer au tableau 3 pour la signification des classes d'âge).

Comparaison entre la mosaïque primitive et la mosaïque de 1990

Les travaux de LEBLANC et BÉLANGER (2000) et de LARUE (1995) dressent, principalement à l'aide de photographies aériennes prises en 1929, un portrait de la forêt primitive, portrait qui illustre la spécificité écologique de la RFL. Par forêt primitive, on entend une forêt n'ayant pas fait l'objet « d'exploitations forestières importantes amenant le développement de forêts de seconde venue » (LEBLANC et BÉLANGER 2000). En résumé, selon ces mêmes auteurs, la forêt primitive de la région des Laurentides se caractérisait par une dominance de sapinières (près de 52 % du territoire du lac Champlain ; figure 2). Les peuplements matures et surannés dominaient le paysage à l'échelle du millier de kilomètres carrés et la superficie moyenne des peuplements, tous types confondus, était de 6 ha. Le paysage était principalement modelé par les épidémies récurrentes de tordeuse de bourgeons de l'épinette (TBE ; *Choristoneura fumiferana*) et les chablis. Cependant, ces perturbations demeuraient sous-dominantes dans le paysage forestier. Les feux étaient peu fréquents en raison de la forte pluviométrie de cette région. Ces perturbations naturelles, créant généralement des ouvertures de faibles superficies, maintenaient une mosaïque forestière hétérogène. De plus, les épidémies de TBE assuraient généralement le retour de la sapinière en favorisant la régénération du sapin au détriment des autres essences (BASKERVILLE 1975, MCLEAN 1984, MORIN 1990).

Afin de savoir si la mosaïque actuelle diffère de la mosaïque primitive, LEVESQUE (1997) ainsi que LEBLANC et BÉLANGER (2000) proposent de considérer trois niveaux d'altération de la mosaïque forestière actuelle par rapport à celle qu'on trouvait en 1929. Les limites d'altération sont les suivantes :

- altération faible : maintien de plus de 66 % de l'état primitif ;
- altération significative : maintien entre 33 à 66 % de l'état primitif ;
- altération sévère : maintien de moins de 33 % de l'état primitif.

Cette notion d'altération a été utilisée pour pouvoir qualifier la mosaïque qu'on trouve autour du lac Champlain en 1990 par rapport à celle qu'on y observait en 1929. Le secteur du Lac Champlain étudié a une superficie d'environ 50 km².

Résultats

Composition végétale de la mosaïque forestière en 1990

Groupements d'essences

L'analyse des groupements d'essences montre que la sapinière pure est dominante dans l'aire commune 031-07 (figure 3). Que ce soit en peuplements purs (SS) ou mélangés (SBB + ES), la sapinière occupe plus de 60 % de la superficie totale du territoire.

Classes d'âge

Les peuplements matures occupent 27 % du territoire (figure 4) ; 48 % de ces peuplements sont des sapinières pures. La répartition des groupements d'essences à l'intérieur de ce type de forêt est relativement homogène (entre 5 et 8 % du territoire), à l'exception des bétulaies et des mélézaies (figure 4). Les peuplements surannés occupent 29 % du territoire. En outre, les superficies occupées par les peuplements jeunes sont quasiment équivalentes à celles occupées par les sites en régénération, soit environ 16 %, alors que les plantations ne couvrent que 4 % du territoire.

Groupement d'essences_classe d'âge

Après les peuplements en régénération (16,5 %), ce sont les sapinières à sapin matures qui occupent la plus vaste superficie du territoire (13,8 % ; figure 5). On constate également que les sapinières pures et mélangées présentent une répartition presque homogène des superficies occupées par chacune des classes d'âge (jeune/mature/suranné), ce qui n'est pas le cas des autres peuplements. En effet, les jeunes bétulaies, les jeunes pessières à épinette noire et surtout les jeunes mélèzaies sont quasi absentes de la mosaïque forestière de l'aire commune 031-07.

Classes de drainage

Plus de 60 % de la superficie totale du territoire sont occupés par des entités topographiques généralement bien drainées (classes 2 et 3). La seconde classe en importance, en termes de superficie occupée, est la classe dite humide (classe 4 et 5) qui ne représente qu'environ 10 % de la superficie du territoire. D'autre part, les classes de drainage principalement complexe (0-4), oblique, mésique-humide et mésique-complexe se partagent le reste du territoire forestier en proportions à peu près égales (environ 6 % chacune).

Groupement d'essences_classe d'âge_classe de drainage

Tout comme les peuplements en régénération et quelle que soit leur classe d'âge, les sapinières pures et mélangées se trouvent majoritairement (62 %) sur des sites mésiques (tableau 5). Cependant, environ 23 % des sapinières pures de la classe d'âge de 30 ans et 22 % des pessières à sapin ou sapinières à épinette (ES) de classe d'âge de 50 ans et plus poussent sur des sites humides et sur des sites mésiques à codominance de drainage humide.

Configuration des peuplements en 1990

Dimensions des peuplements

Sur la base de la répartition de la taille des polygones, on peut scinder les habitats en deux grands groupes. Le premier rassemble les peuplements feuillus, mélangés et résineux tandis que le deuxième groupe les peuplements en régénération et les plantations. Le premier groupe est caractérisé par un nombre élevé de polygones de 10 ha ou moins (tableau 6), polygones qui ne couvrent qu'une

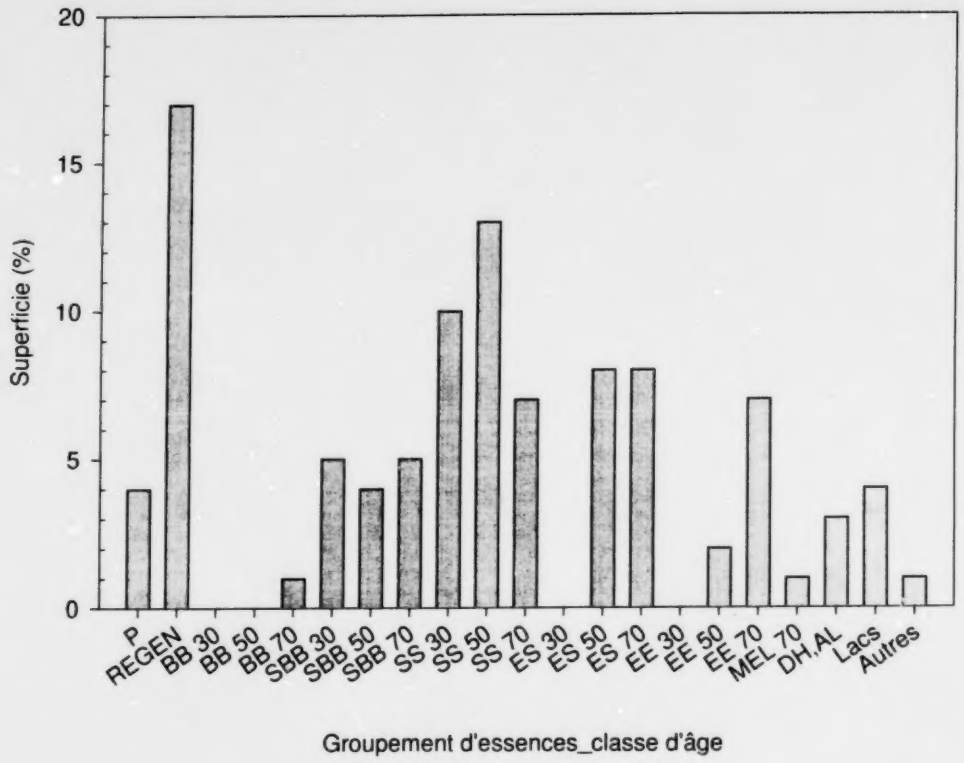

Figure 5. Superficie totale de l'aire commune 031-07 couverte par chaque assemblage groupement d'essences_classe d'âge.

faible superficie du territoire forestier (moins de 5 %, à l'exception des résineux, 15 %). La répartition moyenne de la superficie couverte par le premier groupe entre les différentes classes de superficie est la suivante : les polygones de 10 ha ou moins en occupent environ 36 %, ceux de 10 à 50 ha, 55 %, ceux de 50 à 100 ha, environ 12 % et finalement ceux de plus de 100 ha sont rares (4 % en moyenne, mais quand même 9 % pour les résineux). Les polygones de ce premier groupe ont une superficie moyenne de 10 ha. Par contre, les polygones du deuxième groupe ont une superficie moyenne d'environ 16 ha parce que, bien que la majorité de ses polygones ait 10 ha ou moins, ceux de grande superficie (plus de 50 ha) couvrent plus de 25 % du territoire et sont occupés par les plantations et les peuplements en régénération. Ainsi, la majorité des districts écologiques est constituée de polygones de 10 à 50 ha. Toutefois, certains districts font exception, plus particulièrement le district 5 dans lequel les peuplements de plus de 100 ha occupent la plus grande proportion du territoire ; ces derniers sont principalement des peuplements en régénération.

Forme des peuplements

Dans la plupart des cas, les combinaisons « groupement d'essences_classe d'âge » présentent des indices de forme supérieurs à 1,5 (figure 6). La classe d'indice de forme « > 2,50 » occupe la plus grande superficie pour les groupements P, REGEN, SS 30, SS 50, SS 70, ES 70, EE 50, EE 70 et MEL 70. En général, quel que soit l'âge du peuplement, l'indice de forme des peuplements feuillus ou mélangés est inférieur à celui des peuplements résineux. L'étude de l'indice de forme à l'intérieur de chaque district écologique montre qu'ils sont essentiellement composés de polygones « groupement d'essences_classe d'âge » de formes complexes, notamment le district 5, dont plus de 80 % de la superficie sont occupés par des polygones dont l'indice de forme est supérieur à 2,5.

C. Périé, F. Levesque, H. d'Avignon, R. Ouimet et V. Gerardin, 2000. *Utilisation d'indicateurs cartographiques dans la caractérisation de la mosaïque forestière à l'échelle d'une aire commune*. Note de recherche forestière n° 101. 18 p. (2000-3089)

ERRATA

Tableau 5. Superficies (ha) des assemblages groupement d'essences_classe d'âge en fonction de la classe de drainage

Groupement[1] essence_âge	Classes de drainage[1]									
	C	O	H	TH	MC	MO	MH	MTH	M	Total
P	-	39	417	163	72	116	279	196	3605	4885
REGEN	*	115	2205	992	216	1022	2241	1179	14667	22642
BB 30	-	-	13	-	-	33	*	*	117	171
BB 50	-	-	34	-	*	47	*	*	159	255
BB 70	-	-	22	*	16	67	23	*	1227	1362
SBB 30	10	35	294	32	55	549	198	94	5486	6752
SBB 50	-	21	287	24	140	427	136	51	4660	5747
SBB 70	11	10	208	25	197	555	118	35	5744	6904
SS 30	10	70	1770	163	49	574	1461	962	9015	14073
SS 50	27	188	1234	161	165	1443	595	416	14056	18285
SS 70	*	106	706	37	81	911	394	93	7500	9830
ES 30	-	-	13	-	-	-	40	25	78	155
ES 50	-	120	1594	316	29	498	630	334	6752	10273
ES 70	-	102	1697	228	58	841	818	380	6803	10927
EE 30	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*
EE 50	-	*	985	159	*	39	417	288	622	2517
EE 70	-	*	2950	1084	26	157	1491	731	3129	9571
MEL 70	-	-	300	211	*	*	98	34	185	831
DHAL										3492
Eau										5484
Aautre										1488
Total	65	814	14731	3603	1117	7279	8948	4823	83805	135648

[1] Se référer aux tableaux 2, 3 et 4 pour la signification des abréviations.
* Superficie de 10 ha et moins.
- Composante absente.

Agencement spatial des peuplements en 1990

Indice d'isolement

Les jeunes bétulaies sont environ deux fois moins éloignées les unes des autres que les bétulaies plus âgées (tableau 7). Par comparison, les peuplements mélangés sont plus distants les uns des autres, de l'ordre du kilomètre et ce, quel que soit l'âge du peuplement mélangé qu'on considère. Au contraire, les sapinières pures matures sont les peuplements forestiers les plus rapprochés (~ 300 m) tandis que les jeunes sapinières et les sapinières surannées sont plus distantes (~ 500 m). Les jeunes sapinières à épinette ou les jeunes pessières à épinette sont les peuplements les plus isolés les uns des autres (près de 6 km), alors que ces mêmes peuplements plus âgés ne sont pas plus distants les uns des autres que les sapinières. Les groupements les moins distants sont les plantations et les peuplements en régénération (tableau 7 ; ~ 200-250 m).

Indice d'agrégation

L'indice d'agrégation calculé sans correction pour la forme des districts montre que dans la majorité des cas, les assemblages « groupement d'essences_classe d'âge » sont distribués en grappes à l'intérieur des districts (tableau 7). Néanmoins, quelques assemblages sont distribués aléatoirement ou régulièrement. Ces deux derniers types de distribution spatiale sont généralement composés d'un nombre restreint de polygones (n = 15). Cependant, lorsqu'on tient compte de la forme des districts (correction de Donnelly), le test de structure spatiale indique que, quel que soit le district écologique considéré, tous les assemblages « groupement d'essence_classe d'âge » sont distribués en grappes.

Tableau 6. Répartition des types de peuplement en fonction des classes de superficie

Classe de superficie		Type de peuplement				
		F	M	R	P	REG
<= 10 ha						
	% de la superficie forestière[1]	1	4	16	1	3
	% de la superficie totale du type de peuplement	36	26	26	16	17
	Nombre de polygones	153	1241	4993	208	983
De 10 à 50 ha						
	% de la superficie forestière	1	9	32	1	7
	% de la superficie totale du type de peuplement	55	57	52	30	36
	Nombre de polygones	54	568	1911	67	384
De 50 à 100 ha						
	% de la superficie forestière	0	2	9	1	4
	% de la superficie totale du type de peuplement	9	14	14	20	19
	Nombre de polygones	1	40	160	16	63
> 100 ha						
	% de la superficie forestière	0	0	1	6	5
	% de la superficie totale du type de peuplement	0	3	9	32	28
	Nombre de polygones	0	5	43	9	25

[1] La superficie forestière est la superficie de l'aire commune couverte par les peupements feuillus, mixtes et résineux ainsi que les peuplements en régénération et les plantations.

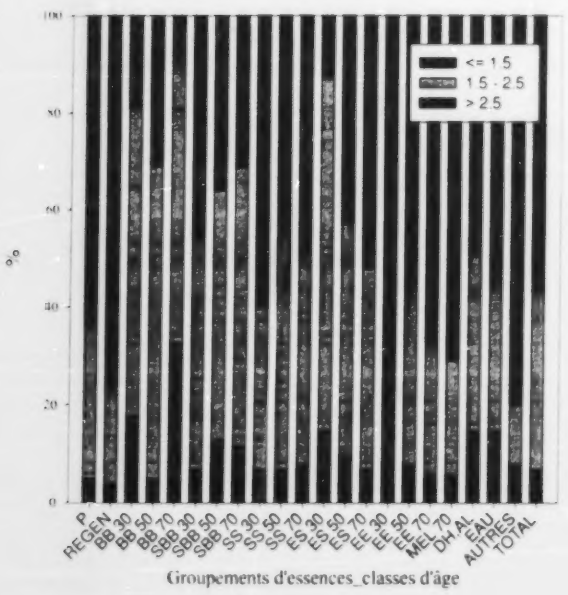

Figure 6. Répartition des assemblages groupement d'essences_classe d'âge en fonction des classes d'indices de forme.

Degré de connexité

En raison des coupes forestières, les districts 5 et 7, qui représentent 15 % de la superficie totale de l'aire commune, sont très morcelés et donc différents des autres districts (tableau 8). Si on ne considère pas ces deux districts, trois polygones sont suffisants pour couvrir 84 % du territoire restant qui représentent 85 % de la superficie totale de l'aire commune).

Évolution de la mosaïque forestière

En 1990, les superficies couvertes par les peuplements résineux et mélangés, dans le secteur du lac Champlain, sont sensiblement les mêmes que celles observées en 1929 puisque le taux d'altération de la mosaïque de ces peuplements est faible (tableau 9). Il en va tout autrement des superficies couvertes par les bétulaies pures qui ont triplé en moins d'un siècle. On remarque également que les superficies couvertes par les peuplements mixtes, bien que ne présentant qu'un faible taux d'altération, ont augmenté d'environ 20 % tandis qu'à l'inverse, les pessières ont régressé d'environ 23 %. La représentation des jeunes peuplements au niveau du paysage forestier est toujours la même que celle observée en 1929. Par contre, les superficies couvertes par des peuplements de classe d'âges 30 et 50 sont beaucoup plus importantes et l'altération de la mosaïque primitive de ces peuplements est donc sévère. En moins d'un siècle, deux tiers des forêts surannées ont disparu. D'autre part, lorsque l'on considère la taille des peuplements résineux on constate que l'altération de la mosaïque primitive est sévère. En 1990, les peuplements résineux sont de plus grande superficie que ceux de 1929.

Tableau 7. Indice d'isolement moyen[1] (IIM) et valeur Z du test d'agrégation sans la correction de DONNELLY (1978) des assemblages groupement d'essences_classe d'âge

Groupement	IIM	District									
essences_âge	(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12
P	215			-6,0	-2,7	-9,0		-7,6	-7,5		-6,4
REGEN	238	-8,0	-6,9	-13,7	-4,4	-11,0	-15,4	-9,9	-11,3	-7,0	-14,0
BB 30	2081			-3,9			-0,8*				0,2*
BB 50	4816						0,1*		1,8*	-0,9*	1,4*
BB 70	4287	0,7*		-2,9		-10,1	0,6*	-1,3*		-5,7	
SBB 30	1162	-11,6	-14,8	-11,5			-11,6		-0,6*	-2,1	-9,9
SBB 50	807	-8,9	-5,0	-1,2*		-0,7*	-12,6		-7,6	-3,8	-5,4
SBB 70	887	-7,2	-1,8*	-6,9		-14,8	-7,1	-2,4	-3,7	-9,9	-1,2*
SS 30	479	-9,9	-19,4	-14,7		-5,9	-16,5	-9,0	-1,0*	-4,2	-10,8
SS 50	262	-12,0	-19,7	-17,8		-6,6	-16,1	-5,1	-14,2	-13,8	-3,4
SS 70	480	-9,7	-10,7	-12,5		-2,7	-8,0	-0,8*	-13,0	-8,6	-3,3
ES 30	5732		-1,9*				1,0*				-0,4*
ES 50	488	-5,8	-12,5	-8,4		-6,7	-6,3	-2,1	-10,2	-13,7	-0,4*
ES 70	433	-8,9	-2,1	-9,8		-8,6	-7,3	-5,9	-12,0	-13,4	-2,2
EE 30											
EE 50	1641	0,4*	-9,1	-3,8			-1,6*	0,4*	-2,5	-4,0	1,5*
EE 70	353	-7,3	-8,4	-4,6	-7,2	-10,2	-9,8	-10,7	-4,3	-10,3	
MEL 70	424					-4,6		-4,0	-3,2	-5,2	
DH, AL	382	-4,9	-12,4	-4,6	-5,1	-7,0	-10,5	-7,6	-7,9	-6,3	-4,1
Eau	458	-7,2	-8,1	-7,8	-3,9	-7,2	-6,3	-9,4	-5,2	-6,2	0,6*
Autre	1940		-0,7*	-4,0	1,3*	-0,5*	-4,0	-5,6	-2,5	-1,0*	-0,1*

[1] Indice d'isolement moyen pour l'ensemble des 12 districts.
Les cellules vides signifient que moins de deux polygones sont présents. Les astérisques (*) signalent une distribution aléatoire des polygones, alors que les plus (+) marquent une distribution régulière. Les valeurs sans (*) ni (+) indiquent une distribution en grappe. Le niveau de signification du test est de 5 % ($\alpha = 0.05$).

Discussion

Comme on pouvait s'y attendre, puisque le territoire se situe dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'Est (OIFQ 1996), le sapin baumier, en peuplements purs et mélangés, domine toujours le paysage et ce, autant dans les peuplements jeunes que dans les peuplements de plus de 40 ans. D'autres groupements d'essences, beaucoup plus rares, comme les bétulaies à bouleau jaune, ont cependant été signalés et mériteraient une attention particulière afin qu'on puisse éventuellement les maintenir dans le paysage de l'aire commune. Les peuplements matures et surannés (classes d'âge de 50 ans et plus) couvrent plus de 60 % de l'aire commune 031-07, mais seules les pessières présentent un important problème de succession puisque les jeunes pessières (classe d'âge 30) sont totalement absentes du paysage ; cette absence pourrait entraîner, à long terme, une diminution de l'approvisionnement en épinette noire puisque cette dernière ne pourrait plus provenir que des peuplements dans lesquels on la trouve en association avec le sapin baumier ou, plus rarement, avec un feuillu de lumière comme le peuplier ou le bouleau.

Historiquement, les perturbations naturelles créaient des mosaïques forestières composées de peuplements de superficies et de formes diverses. Par conséquent, une stratégie de gestion écosystémique visera à créer une mosaïque forestière semblable (HUNTER 1990). Ainsi, la répartition de la superficie de l'aire commune 031-07 par classe de superficie des combinaisons « groupement d'essences - classe d'âge » permet de vérifier si des peuplements de diverses superficies sont présents. Les résultats montrent qu'en moyenne, la superficie des polygones des peuplements en régénération et des plantations est plus importante que celle des autres types de peuplement. Ceci est très certainement imputable à la coupe de grandes superficies. Les polygones ont en général des formes complexes, ce qui a pour effet d'augmenter le périmètre des lisières mais, comme l'aire commune se situe essentiellement dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc, le risque de perte d'habitats d'intérieur n'est pas à craindre (DARVEAU *et al.* 1996).

Tableau 8. Nombre de polygones qui occupent respectivement 95 % et 99 % de la superficie des forêts de classes d'âge de 30 ans et plus

District écologique	Superficies couvertes	
	95 %	99 %
1	1	2
2	2	2
3	2	21
4	8	12
5	111	166
6	5	18
7	32	49
8	10	36
9	2	5
12	19	33

Tableau 9. Niveaux d'altération de la mosaïque forestière du secteur du lac Champlain observée en 1990 par rapport à celle présente dans le même secteur en 1929. Les données de 1929 sont adaptées de Leblanc et Bélanger (2000)

	Mosaïque forestière		Niveaux d'altération		
	1929	1990	Altération faible	Altération significative	Altération sévère
Groupements d'essences					
SS	40 %	37%	**27 à 53 %**	14 à 27 % ou 53 à 66 %	< 14 % ou > 66 %
SE, ES	20 %	21%	**13 à 27 %**	7 à 13 % ou 27 à 33 %	< 7 % ou > 33 %
EE	17 %	13%	**11 à 23 %**	6 à 11 % ou 23 à 28 %	< 6 % ou > 28 %
SBB, BBS	22 %	26%	**15 à 29 %**	7 à 15 % ou 29 à 37 %	< 7 % ou > 37 %
BB	1 %	3 %	0,7 à 1,3 %	0,3 à 0,7 % ou 1,3 à 1,7 %	**< 0,3 % ou > 1,7 %**
Classes d'âge					
10	10 %	9 %	**7 à 13 %**	3 à 7 % ou 13 à 17 %	< 3 % ou > 17 %
30	12 %	34 %	8 à 16 %	4 à 8 % ou 16 à 20 %	**< 4 % ou > 20 %**
50	18 %	33 %	12 à 24 %	6 à 12 % ou 24 à 30 %	**< 6 % ou > 34 %**
70 et plus	60 %	23 %	40 à 80 %	**20 à 40 % ou 80 à 100 %**	< 20 %
Classes de superficie des peuplements résineux					
< 10 ha	55 %	0 %	37 à 73 %	19 à 37 % ou 73 à 91 %	**< 19 % ou > 91 %**
10 à 29 ha	41 %	92 %	27 à 55 %	14 à 27 % ou 55 à 68 %	**< 14 % ou > 68 %**
>= 30 ha	4 %	8 %	3 à 5 %	1 à 3 % ou 5 à 7 %	**< 1 % ou > 7 %**

L'isolement des polygones de même nature peut limiter les déplacements et les interactions entre les populations de diverses espèces qui exigent des habitats particuliers (Forman et Godron 1986, Hunter 1990). Quant à l'indice et au test d'agrégation, ils permettent de caractériser l'agencement spatial des polygones. Selon ces indicateurs, la majorité des assemblages « groupement d'essences_classe d'âge » ont une répartition groupée sur le territoire. Ceci peut en partie s'expliquer par la distribution naturelle des peuplements. Par exemple, les pessières se concentrent davantage dans les milieux humides. Cependant, cette distribution groupée peut également être favorisée par l'action humaine, les coupes étant souvent concentrées par secteur. Il devient alors difficile de déterminer quelle répartition – groupée, aléatoire ou régulière – devrait être favorisée ou maintenue. Les indicateurs de répartition spatiale sont en partie reliés au nombre de polygones. Ainsi, l'indice d'isolement est généralement plus faible pour un type relativement abondant de polygones. De plus, selon les calculs de l'indice et du test d'agrégation, le patron tend à être plus groupé en présence d'un faible indice d'isolement. Le nombre et la superficie des polygones par « groupement d'essences_classe d'âge » seraient donc d'autres indicateurs intéressants et complémentaires aux indicateurs de fragmentation étudiés ici.

Un autre important élément de fragmentation est le degré de connexité entre les composantes de la mosaïque forestière (Forman et Godron 1986). Une attention particulière doit lui être portée afin de maintenir une continuité dans la matrice du couvert forestier et d'ainsi éviter l'isolement de certaines populations végétales ou animales. Le nombre de polygones composant 95 % de la superficie des forêts de classe d'âge de 30 ans et plus rend compte du degré de connexion du couvert forestier. Bien que cette classe d'âge soit proposée comme limite pour constituer le couvert forestier, d'autres critères pourraient également être utilisés en fonction des besoins et peut-être même, lorsqu'on les aura déterminées, des unités de paysage significatives en matière de biodiversité. On peut, par exemple, penser à la classe de hauteur des peuplements qui permettrait de sélectionner les peuplements de plus de 4 m ou de plus de 7 m de hauteur. Enfin, des stratégies d'aménagement, qui visent à maintenir des bandes riveraines et des bandes boisées suffisamment larges entre les assiettes de coupe, devraient contribuer à maintenir une continuité dans le couvert forestier. L'indice d'isolement pourrait également servir à vérifier la distance entre les différents polygones afin d'évaluer l'ampleur des discontinuités dans le couvert ; une distance de 100 m entre deux couverts forestiers n'ayant certainement pas le même impact qu'une distance de 1000 m.

Il ne faut pas oublier que les indices de fragmentation sont directement liés à la délimitation des polygones, laquelle peut être relativement arbitraire. Ils sont donc affectés par la précision du photo-interprète, par les regroupements de groupements d'essences ainsi que par les normes cartographiques (superficie minimum des peuplements, échelle cartographique, scission des polygones par les limites administratives, etc.). Les limites des districts écologiques, en fractionnant les peuplements chevauchant deux districts, contribuent à surestimer la fragmentation de la mosaïque forestière à l'échelle du district. De fait, plus un district écologique présente une longue bordure par unité de surface, plus la proportion de peuplements fractionnés est importante. En général, un district de faible superficie entraîne une surestimation de la fragmentation comparativement à un district de plus grande superficie, car on retrouve alors une proportion plus élevée de polygones de petite superficie. Toutefois, cette surestimation devrait être relativement constante pour un même district. Enfin, bien que plusieurs auteurs reconnaissent l'importance de la fragmentation et de la configuration de la mosaïque forestière, d'autres auteurs suggèrent de mettre l'accent sur la quantité d'habitats et sur les éléments qui les composent plutôt que sur la fragmentation et la configuration de la mosaïque forestière (Bunnell 1998).

L'augmentation de la taille des peuplements résineux et la diminution des superficies couvertes par les vieilles forêts sont les deux différences entre la mosaïque de la forêt actuelle et celle de la forêt primitive qui sont le plus susceptibles d'affecter la biodiversité du territoire. Il faudrait cependant tenir compte du fait que l'augmentation de la superficie occupée par les petits territoires (< 10 ha), qui a plus que doublé en 60 ans (tableau 9 ; de 41 % à 95 %), pourrait simplement résulter des nouvelles normes de photo-interprétation qui n'attribuent un qualificatif qu'aux polygones de plus de 10 ha. Il est cependant peu probable que cette restriction technique explique le fait que la superficie occupée par les peuplements de très grandes superficies, plus de 30 ha, ait doublé en moins d'un siècle. Environ 65 % de la superficie couverte par ces peuplements (≥ 30 ha) correspondent à des peuplements résineux de 20 à 40 ans. Ces peuplements pourraient donc avoir été engendrés par l'épidémie de TBE qui a sévi dans les années 50. On constate également un rajeunissement de la forêt, rajeunissement mesuré par la diminution des superficies couvertes par les forêts surannées et, à l'inverse, une augmentation des superficies de forêt couvertes par des forêts ayant entre 20 et 60 ans. Du point de vue de la biodiversité, ce qui est plus alarmant, c'est la perte de vieilles forêts (perte des 2/3 de la superficie en 60 ans). En effet, ces dernières, de par leur structure caractéristique, sont souvent considérées comme essentielles au maintien de la biodiversité (Bergeron *et al.* 1999). Ces peuplements sont particulièrement riches en plantes invasculaires, qu'on ne trouve quasiment pas dans les sapinières de seconde venue à maturité sylvicole (Desponts *et al.* 1999). La disparition des vieilles forêts pourrait également entraîner une perte importante d'attributs d'habitat pour les organismes, dont les chicots et les gros débris ligneux constituent la principale niche écologique (Hunter 1990, Sippola *et al.* 1998, Kuusinen et Siitonen 1998). En utilisant la méthode des niveaux d'altération, il a donc été possible de comparer la mosaïque de 1990 à celle de la forêt primitive, mais cet exercice n'a pu être fait que sur un petit territoire de 50 km². Cependant, dans l'avenir, il sera possible, par le même exercice, d'utiliser la mosaïque de 1990 comme base de comparaison pour évaluer l'impact des travaux sylvicoles à venir sur le paysage forestier de toute l'aire commune (1360 km²). Il faudra néanmoins toujours garder à l'esprit que la mosaïque de 1990 n'est pas celle de la forêt primitive et qu'elle s'en écarte par bien des points.

Conclusion

Les indicateurs utilisés, déterminés à partir de données cartographiques, donc faciles à calculer et peu onéreux, ont permis de dresser le portrait de la mosaïque forestière de l'aire commune 031-07 tel qu'il était en 1990. Cette dernière est essentiellement caractérisée par une nette dominance de peuplements résineux de forme complexe, d'une superficie moyenne de 12 ha, peu isolés les uns des autres. Le paysage forestier est généralement continu (bon indice de connexité). Il semblerait donc que la perte d'habitats d'intérieur et l'isolement de peuplements ne soient pas des problèmes fréquemment rencontrés dans l'aire commune, à l'exception des territoires récemment coupés. Non seulement ces indicateurs peuvent servir à dresser le portrait de la mosaïque forestière à un moment donné, mais ils pourront également servir à évaluer l'impact de l'aménagement forestier effectué dans les années à venir et même à rencontrer les objectifs fixés dans les plans d'aménagement. Cependant, la précision de ces outils devra être améliorée, notamment grâce au développement des technologies de télédétection et de SIG. Ces indicateurs cartographiques offrent donc un bon potentiel pour caractériser la mosaïque forestière et nous en recommandons l'utilisation.

Remerciements

Nous désirons remercier la Scierie Leduc (division de Daishowa inc.) pour son étroite collaboration au projet. Nous remercions également M. Jean Bissonnette (MEF) pour nous avoir fourni des données indispensables à la réalisation de cette étude, M. Michel Thibault, M. Pierre Drapeau et Mme Agathe Cimon pour avoir révisé le manuscrit et enfin M. Fabien Caron pour l'avoir édité.

Bibliographie

ACNOR (Association canadienne de normalisation), 1996. CAN/CSA-Z808-96. *Aménagement forestier durable : un document-guide. Techniques de l'environnement. Norme nationale du Canada*. Etobicoke, Ontario. 53 p.

Baskerville, G., 1975. *Spruce budworm : super silviculturist*. For. Chron. 51: 138-140.

Bergeron, Y., B. Harvey, A. Leduc et S. Gauthier, 1999. *Stratégies d'aménagement forestier qui s'inspirent de la dynamique des perutrbations naturelles : considérations à l'échelle du peuplement et de la forêt*. For. Chron. 75(1) : 55-61.

Bormann, F.H. et G.E. Likens, 1979. *Pattern and process in a forested ecosystem*. Springer-Verlag.

Braun, P., H. Balzter et W. Köhler, 1996. *Methods to analyse the spatial structure of plant communities*. Dans : T.H. Mowrer, R.L. Czaplewski et R.H. Hamre, éd. Spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences : second international symposium. U.S.D.A. Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado. General Technical Report RM-GTR-277 : 695-702.

Buechner, M., 1989. *Are small-scale landscape features important factors for field studies of small mammal dispersal sinks ?* Landscape Ecology 2 :191-199.

Bunnell, F., 1998. *Managing forests to sustain biodiversity : substituing accomplishment for motion*. For. Chron. 74 : 822-827.

CCMF (Conseil canadien des ministres des Forêts), 1995. *Définir la gestion durable des forêts. Une approche canadienne aux critères et indicateurs*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Ottawa. 22 p.

Darveau, M., L. Bélanger, É. Mélançon et J. Huot, 1996. *Forestry practices and the risk of bird nest predation in boreal coniferous forest*. Ecol. Applic. 7 : 572-580.

Desponts, M., L. Bélanger, A. Desrochers et J. Huot, 1999. *Les sapinières vierges : un élément essentiel au maintien de la biodiversité en milieu forestier*. L'Aubelle 131 : 21-24.

Donnelly, K., 1978. *Simulations to determine the variance and edge-effect of total nearest neighbor distance*. Dans : I. Hodder (éd.). Simulation methods in archaeology. Cambridge University Press : 91-95.

ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.), 1996. *Arcview GIS: the geographic information system for everyone*. Redlands, California. 340 p.

ESRI (Environmental Systems Research Institute Inc.), 1997. *Understanding GIS : the ARC/INFO method. Fourth edition*. John Wiley & Sons, New York.

Forman, R.T.T. et M. Godron, 1986. *Landscape ecology*. John Wiley and Sons Inc. USA. 620 p.

Hagan, J.M. et S.L. Grove, 1999. *Coarse woody debris*. J. For. 97 : 6-11.

Hardt, R.A. et R.T.T. Forman, 1989. *Boundary form effects on woody colonization of reclaimed surface mines*. Ecology. 70 :1252-1260.

Hessberg, P.F., B.G. Smith et R.B. Salter, 1999. *Detecting change in forest spatial patterns from reference conditions*. Ecol. Applic. 9(4) : 1232-1252.

Holling, C.S., 1992. *Cross-scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems*. Ecol. Monogr. 62 : 447-502.

Hunter, M.L., Jr., 1990. *Wildlife forests and forestry : principles of managing forests for biological diversity*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Johnson, D.R. et J.K. AGEE, 1988. *Ecosystem management for parks and wilderness*. J.K. Agee et D.R. Johnson, éd. University of Washington Press, Seattle : 3-14.

Kay, J.J., 1993. *Ecological integrity and the management of ecosystems*. Ste-Lucie Press, Ottawa.

Kneeshaw, D., 1996. *Effets de la fragmentation des forêts sur le maintien de la biodiversité au Québec*. Ministère des Ressources naturelles du Québec. Rapport RN96-3083. 88 p.

Krebs, C., 1989. *Ecological methodology*. Harper Collins Publishers, New York. 654 p.

Kuusinen, M. et J. Siitonen, 1998. *Epiphytic lichen diversity in old-growth and managed* Picea abies *stands in southern Finland*. J. Veg. Sci. 9 : 283-292.

Lamontagne, L. et M.-C. Nolin, 1997. *Cadre pédologique de référence pour la corrélation des sols*. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Équipe pédologique du Québec, Sainte-Foy. 69 p.

Larue, P., 1995. *Analyse de la composition forestière et de la structure d'âge de territoires forestiers compris dans les domaines climaciques de la sapinière à bouleau blanc et de la sapinière à épinette noire entre 1926 et 1990. Projet de développement de la gestion intégrée des ressources*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune.

Leblanc, M., 1998. *La sapinière vierge de la Forêt Montmorency et de sa région : une forêt boréale distincte*. Mémoire de maîtrise. Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval. 144 p.

LEBLANC, M. et L. BÉLANGER, 1997. *Biodiversité et objectifs d'habitats : une approche pour déterminer le potentiel écologique. Version préliminaire. Remis à la Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles du Québec*. Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval.

LI, T., J. BISSONNETTE, J.-P. DUCRUC, V. GERARDIN et L. COUILLARD, 1994. *Le cadre écologique de référence du Québec : les régions naturelles. Présentation générale*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 20 p.

MACLEAN, D. A., 1984. *Effects of spruce budworm outbreaks on the productivity and stability of balsam fir forests*. For. Chron. 60 : 273-279.

MCGARIGAL, K. et B.J. MARKS, 1993. *Fragstats : spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Version 1.0*. Forest Science Department. Oregon State University. Corvallis, Oregon. 65 p. + annexes.

MEF (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE), 1994. *Gestion intégrée des ressources de la réserve faunique des Laurentides : cadre écologique de référence. Version préliminaire*. Gouvernement du Québec, Direction du patrimoine écologique, Service de la cartographie écologique.

MEF (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE), 1996. *Convention sur la diversité biologique. Stratégie de mise en œuvre au Québec*. 122 p.

MORGAN, P., G.H. APLET, J.B. HAUFLER, H.C. HUMPHRIES, M.M. MOORE et W.D. WILSON, 1994. *Historical range of variability : a useful tool for evaluating ecosystem change*. J. Sust. For. 2 : 87-111.

MORIN, H., 1990. *Analyse dendroécologique d'une sapinière issue d'un chablis dans la zone boréale, Québec*. Can. J. For. Res. 20 : 1753-1758.

MRN (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES), 1994. *Une stratégie : aménager pour mieux protéger les forêts*. Gouvernement du Québec, Direction des programmes forestiers. 197 p.

MRN (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES), 1995. *Norme de stratification écoforestière : troisième programme de connaissance de la ressource forestière*. Gouvernement du Québec, Direction de la gestion des stocks forestiers, Service des inventaires forestiers. 116 p.

MRN (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES), 1996. *Biodiversité du milieu forestier : bilan et engagements du ministère des ressources naturelles*. Gouvernement du Québec, Direction de l'environnement forestier. 152 p.

MRN (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES), 1998. *Développement forestier durable : proposition de critères et indicateurs pour le Québec*. Gouvernement du Québec, Direction de l'environnement forestier. 94 p. + annexes.

OIFQ (ORDRE DES INGÉNIEURS FORESTIERS DU QUÉBEC), 1996. *Manuel de foresterie*. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 1428 p.

RIPLEY, B. D., 1986. *Spatial point pattern analysis in ecology*. Dans : P. Legendre et L. Legendre. éd. Developments in numerical ecology. Springer, Berlin : 407-429.

ROWE, J. S., 1993. *L'écodiversité, la clé de la diversité*. Symposium du Groupe de travail sur les zones protégées de la région atlantique. Fredericton, N.-B.

SINCLAIR, D. F., 1985. *On tests of spatial randomness using mean nearest neighbor distance*. Ecology 66 : 1084-1085.

SIPPOLA, A.L., J. SIITONEN et R. KALLIO, 1998. *Amount and quality of coarse debris in natural and managed coniferous forests near the timberline in Finnish Lapland*. Scand. J. For. Res. 13 : 204-214

SPRUGEL, D.G., 1991. *Disturbance equilibrium and environmental variability : what is 'natural' vegetation in a changing environment ?* Biol. Conserv. 58 : 1-18.

THIBAULT, M., 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche et Service de la cartographie. Carte au 1 : 1 250 000.

WILCOX, B.A., et D.D. MURPHY, 1985. *Conservation strategy : the effects of fragmentation on extinction*. Am. Nat. 125 : 879-887.

2000-3089

ISBN 2-550-36197-0
Dépôt légal 2000
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
© 2000 Gouvernement du Québec

Québec
Ministère des Ressources naturelles